

Perbandingan Kualitas Layanan *Wireless* VOIP pada *Codec* G.711, G.723 dan G.729

Feri Kurniawan, Sri Wahjuni

Departemen Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Wing 20 Lv.V, Bogor, Jawa Barat, 16680

Abstract---*Voice over Internet Protocol (VoIP) is a technology that enable voice message transmission over data network (internet protocol). Codec is algorithm or special computer program to reduce number of bytes. The usage of appropriate codec at implementation VoIP is one thing determining in attainment of quality VoIP communications. This research implement and analys the usage of codec G711, G723 and G729 at protocol H323 for VoIP service. Examination by through simulation using ns-2. Codec G723 has smaller delay value and jitter value than codec G711 and G729. The result from simulation is codec G723 has smaller bit rate value, so more efficient for implementation at network that having not big bandwidth or network capacity. In communications process usage of codec G.723 will not encumber network.*

Keywords: *VoIP, Codec*

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi dan jaringan komputer yang sangat pesat seperti sekarang ini cenderung mengarah kepada aplikasi-aplikasi *realtime* berbasis internet, seperti *Telephone Internet* atau lebih dikenal dengan istilah VoIP (*Voice over Internet Protocol*). Salah satu alasan menggunakan teknologi VoIP adalah biaya yang jauh lebih murah bila dibandingkan dengan menggunakan jaringan PSTN (*Public Switch Telephone Network*). Permasalahan yang terjadi adalah teknologi internet yang digunakan saat ini (IPv4) tidak dirancang untuk mendukung aplikasi-aplikasi *realtime* dan multimedia yang peka terhadap *network delay*, *jitter* dan *packet loss* yang mengakibatkan menurunnya kualitas layanan (Zizhi *et al.* 2004).

Codec merupakan algoritma untuk melakukan kompresi data suara yang bertujuan mengurangi jumlah *bytes* yang dikirimkan dalam jaringan. Penggunaan *codec* yang tepat pada implementasi VoIP merupakan salah satu hal yang menentukan dalam pencapaian kualitas komunikasi VoIP. Contoh *codec* yang berkembang pada saat ini adalah : G723, G711, G729 dan lain-lain.

Penelitian yang dilakukan oleh T.J Patel, V.A Ogale, S. Baek, N. Cui, dan R. Park dari Universitas Texas bertujuan untuk mengetahui kapasitas kanal VoIP pada jaringan *wireless*. Penelitian tersebut membandingkan hasil dari pengamatan pada jaringan Universitas Austin dengan hasil simulasi menggunakan ns-2 untuk melihat pengaruh implementasi *codec* G.711 dan G.723 pada penggunaan kanal jaringan *wireless*. Penelitian yang dilakukan sekarang adalah

melihat kualitas layanan jaringan dengan implementasi *codec* G.711, G.723 dan G.729 pada komunikasi jaringan *wireless*. Pada penelitian ini ditambahkan beberapa parameter yang dianggap memengaruhi hasil dari layanan komunikasi VoIP diantaranya: luas wilayah, antrian, jumlah node, besar paket data.

B. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas layanan komunikasi VoIP pada penerapan *codec* G711, G723 dan G729 pada jaringan *wireless*.

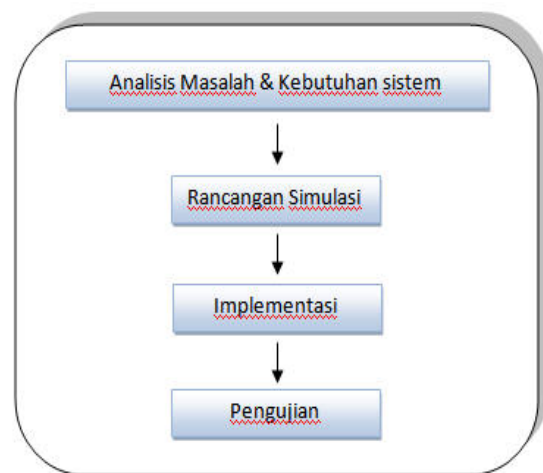
C. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Implementasi dilakukan melalui simulasi menggunakan program *network simulator (ns-2)*
2. Implementasi dilakukan pada jaringan *wireless*.
3. Parameter kinerja yang diukur adalah *delay*, *throughput*, *jitter*.
4. Protokol VoIP yang digunakan adalah H.323.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan memiliki skema berikut (Gambar 1) :



Gambar 1. Skema metodologi penelitian.

A. Analisi masalah dan kebutuhan sistem

Adanya kebutuhan akan layanan komunikasi yang baik sangat menuntut implementasi sistem dan infrastruktur yang baik salah satunya adalah penerapan *codec* yang tepat.

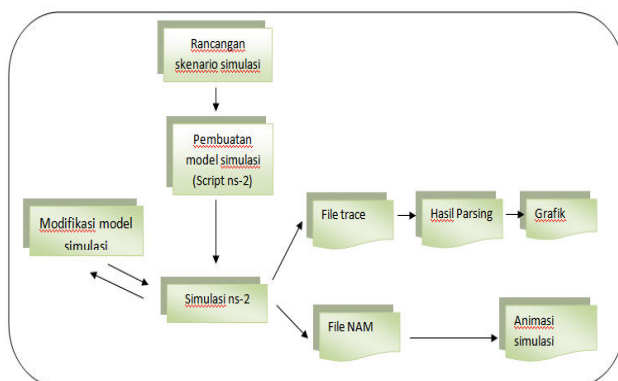
Penelitian untuk mengetahui perbandingan penggunaan *codec* G.711, G.723 dan G.729 dalam komunikasi VoIP dilakukan dengan membuat simulasi skenario pada jaringan *wireless*. Simulasi ini dilakukan pada komputer notebook dengan spesifikasi CPU Intel Core 2 Duo 1,6 GHz, memori 1,5GB DDR3200, *harddisk* 80GB 5400RPM.

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini, adalah :

- VMware Workstation, merupakan aplikasi untuk menjalankan sistem operasi secara virtual. Dalam penelitian ini VMware Workstation digunakan untuk menjalankan sistem operasi Suse Linux 10.0
- Network Simulator 2 (ns-2), merupakan aplikasi untuk menjalankan simulasi di sistem operasi Suse Linux 10.0.
- *Gawk*, merupakan perangkat lunak yang dapat melakukan *parsing* terhadap suatu *file*. Fungsi utamanya adalah mencari isi dari sebuah *file* secara baris-per-baris yang berisikan pola tertentu dan kemudian melakukan seleksi atau pemformatan ulang terhadap *file* tersebut.
- Gnuplot, merupakan perangkat lunak pembuatan grafik berbasis *command-line*. Perangkat lunak ini mampu menghasilkan berbagai macam grafik dengan banyak pilihan untuk mengubah tampilan grafik

Simulasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar 2):

- Membuat *script* ns-2 sesuai dengan skenario, dan dijalankan dengan aplikasi ns-2. Proses ini akan menghasilkan dua buah *file*, yaitu *file* .tra (untuk *trace* data) dan *file* .nam (untuk animasi simulasi).
- *File* .tra yang dihasilkan di-*parsing* dengan menggunakan *Awk* (*script* *Awk*). Proses ini dilakukan untuk mengambil informasi yang dibutuhkan untuk analisis, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan suatu paket dan disimpan dalam sebuah *file* teks. Setelah didapatkan *file* teks yang berisi waktu pengiriman dan penerimaan paket, dilakukan perhitungan *delay* dan *jitter* dengan menggunakan *script* *Awk*.
- Proses selanjutnya adalah memplot data hasil *parsing* ke dalam sebuah grafik dengan menggunakan Gnuplot untuk memudahkan proses analisis.

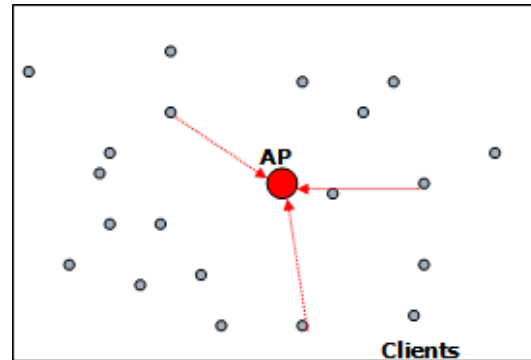


Gambar 2. Proses Simulasi.

B. Rancangan Simulasi

Simulasi dilakukan dengan topologi jaringan *wireless* yang memiliki infrastruktur tetap dengan satu *access point/base station* (Gambar 3). Node-node diletakkan pada

ruangan yang berbentuk persegi dengan ukuran yang telah ditentukan, *node* berada pada posisi tidak bergerak. Banyaknya koneksi antar *node* akan dibatasi dengan nilai koneksi maksimum tertentu dan jumlah koneksi yang acak.



Gambar 3. Topologi jaringan wireless.

Untuk melakukan pengujian kinerja dari *codec* G.723, G.711 dan G.729 pada komunikasi VoIP *wireless*, penelitian ini membagi simulasi yang dilakukan menjadi beberapa skenario dengan beberapa variabel yang berbeda.

Variabel tidak tetap yang digunakan untuk melakukan skenario adalah :

- *Codec*
- Jumlah *node*
- Jumlah antrian
- Luas wilayah
- Besar paket data

Tabel 1. Komponen variable tidak tetap

Nama Variabel	Keterangan
<i>Codec</i>	G711, G723, G729
Jumlah <i>node</i>	12, 16, 20, 24
Jumlah antrian	200, 400, 600
Luas wilayah	150x150, 200x200, 250x250
Besar paket data	120kb, 240kb, 360kb

Variabel tetap yang digunakan untuk melakukan skenario adalah :

- *Routing Protocol* yang digunakan DSDV
- Kecepatan pergerakan *node* 0 m/s
- Kapasitas *link* 512 kbps

C. Implementasi

Paramater yang harus diset dalam proses simulasi ini antara lain

- Tipe kanal
- Model propagasi radio
- Tipe Antena
- Tipe antrian
- *Routing Protocol*

Jumlah skenario yang dijalankan untuk melakukan pengujian ini adalah berjumlah 324. Proses koneksi dan posisi *node* yang digunakan dalam penelitian ini

dibangkitkan melalui aplikasi ns-2, melalui perintah *cbr* dan *setdest*

- *Cbr* adalah salah satu perintah pada ns-2 yang digunakan untuk membangkitkan skenario koneksi antar *node* secara acak.

Misal : ns cbrgen.tcl [-type cbr|tcp][-nn nodes][-seed seed][-mc connections][-rate rate] > [outdir]

-type jenis *traffic* koneksi yang akan diberikan pada jaringan *wireless*

-nn jumlah *node*

-seed mtingkat acak dalam pembangkitan *traffic*

-mc maksimum jumlah koneksi

Outdir direktori hasil

- *Setdest* adalah salah satu perintah pada ns-2 yang digunakan untuk membangkitkan skenario posisi *node* secara acak.

Misal : ./setdest [-n num of nodes][-p pausetime][-s maxspeed][-t simulationtime][-x maxX][-y maxY] > [outdir]

-n jumlah *node*

-p waktu berhenti

-s kecepatan maksimum pergerakan

-t lama waktu simulasi

-y batas wilayah sumbu y

-x batas wilayah sumbu x

Outdir direktori hasil

D. Pengujian

Proses simulasi yang dijalankan pada penelitian ini membutuhkan skenario koneksi antar *node* dan juga pergerakan *node*. Skenario koneksi antar *node* dibangkitkan melalui perintah *cbr* dan skenario pergerakan *node* dibangkitkan melalui perintah *setdest*. Skenario pergerakan *node* selalu tetap karena pada pembangkitan skenarionya kecepatan pergerakan *node* nya di tentukan sebesar 0 m/s. *Routing protocol* yang digunakan untuk simulasi adalah protokol DSDV. Besarnya kapasitas *link* adalah 512 kbps.

Simulasi dilakukan dengan mengeksekusi file betipe *.tcl. Hasil data yang diperoleh dalam proses simulasi dilakukan dengan mengkombinasikan semua variabel tidak tetap sehingga skenario yang dijalankan dalam penelitian ini sebanyak 324. Data yang dikumpulkan dari pengujian ini adalah *delay*, *jitter* dan *throughput*. Data-data tersebut diperoleh melalui parsing dengan gawk terhadap file *.tr. Agar tampilan data mudah untuk dilihat dan dibaca maka format data hasil yang telah diperoleh, diproses lebih lanjut dengan menggunakan *gnuplot* sehingga data hasil akan tampil dalam bentuk grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Topologi sistem yang digunakan untuk proses simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4, *node-node* yang berada disekitar *acces point* memiliki posisi menyebar. Posisi *node* tersebut secara random dibangkitkan oleh skenario simulasi melalui perintah *setdest*. Kecepatan pergerakan *node* yang melakukan komunikasi sebesar 0 m/s. Simulasi menggunakan *routing protocol* DSDV dan antrian *droptail*.

Skenario komunikasi (Tabel 2, 3, 4, 5) antar *node* selama proses simulasi dibangkitkan secara acak melalui perintah *cbr*,

A. Skenario komunikasi simulasi

Proses skenario komunikasi antar *node* nya dibangkitkan menggunakan perintah *cbr* pada ns-2. Skenario komunikasi (Tabel 2 sampai dengan tabel 5) pada penelitian ini didasarkan pada jumlah *node*.

Pada jumlah *node* 12, 16, 20 dan 24 ditentukan pasangan koneksi dari *node* – *x* menuju *node*–*y* dan waktu mulai koneksi untuk besar paket 120 kb, 240 kb dan 360 kb (Tabel 2, 3, 4, dan 5). Misal pasangan koneksi *node* 1 dengan *node* 2 dengan jumlah *node* 12 untuk besar paket 120 kb komunikasi dimulai pada detik 2.55683, besar paket 240 kb komunikasi dimulai pada detik 2.55683, besar paket 360 kb komunikasi dimulai pada detik 2.55683 (Tabel 2).

Tabel 2. Awal waktu koneksi 12 *node*

Pasangan anKon eksi	Detik ke-		
	120 kb	240 kb	360 kb
1 - 2	2.55683	2.55683	2.55683
4 - 5	56.3331	56.3331	56.3331
4 - 6	146.965	146.965	146.965
6 - 7	55.63423	55.63423	55.6342
7 - 8	29.54617	29.54617	29.5461
7 - 9	7.70302	7.70302	7.70302

Tabel 3. Awal waktu koneksi 16 *node*

Pasangan Koneksi	Detik ke -		
	120 kb	240 kb	360 kb
1 - 2	2.55683	2.55683	2.55683
4 - 5	56.3331	56.3331	56.3331
4 - 6	146.965	146.965	146.965
6 - 7	55.6342	55.6342	55.6342
7 - 8	29.5461	29.5461	29.5461
7 - 9	7.70302	7.70302	7.70302
8 - 9	20.4854	20.4854	20.4854
9 - 10	76.2582	76.2582	76.2582

Tabel 4. Awal waktu koneksi 20 *node*

Pasangan Koneksi	Detik ke-		
	120 kb	240 kb	360 kb
4 - 2	56.3331	2.5568	2.5568
4 - 5	146.9656	56.3331	56.3331
6 - 7	55.6342	55.6342	55.6342
7 - 8	29.5461	29.5461	29.5461
7 - 9	7.7030	7.7030	7.7030
8 - 9	20.4854	20.4854	20.4854
9 - 10	76.2582	76.2582	76.2582
4 - 2	2.5568	2.5568	2.5568
9 - 11	31.4649	31.4649	31.4649
11 - 12	62.7733	62.7733	62.7733

Tabel 5. Awal waktu koneksi 24 node

Pasangan Koneksi	Detik ke-		
	120 kb	240 kb	360 kb
1 – 2	2.5568	2.5568	2.5568
4 – 5	56.3331	56.3331	56.3331
4 – 6	146.9656	146.9656	146.9656
6 – 7	55.6342	55.6342	55.6342
7 – 8	29.5461	29.5461	29.5461
7 – 9	7.7030	7.7030	7.7030
8 – 9	20.4854	20.4854	20.4854
9 – 10	76.2582	76.2582	76.2582
9 – 11	31.4649	31.4649	31.4649
11 – 12	62.7733	62.7733	62.7733
11 – 13	46.4558	46.4558	46.4558
13 – 14	83.9008	83.9008	83.9008

Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk grafik. Dengan cara ini dapat lebih mudah dilihat perbedaan hasil yang diperoleh

A. Analisis Delay

Pada skenario simulasi menggunakan jumlah *node* 12, jumlah antrian 200, 400, 600 dan luas wilayah 150 x150, 200 x 200, 250 x 250 m², besarnya *delay* yang dihasilkan memiliki pola grafik yang sama seperti terlihat pada Gambar 5. Untuk besar paket 120 kb nilai *delay* yang diperoleh jika menggunakan *codec* G711 selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai *delay* menggunakan *codec* G711 dan G723. Pada skenario menggunakan 12 *node* nilai *delay* yang dihasilkan untuk *codec* G723 adalah selalu paling kecil. Perbandingan nilai *delay* untuk masing – masing *codec* bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6. Delay rata-rata 12 node

CODEC	Delay rata-rata (detik)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.00279569	0.00390224	0.0050494
G723	0.00265112	0.00364351	0.00460105
G729	0.00636399	0.00381573	0.00488445

Tabel 7 Delay rata-rata 16 node

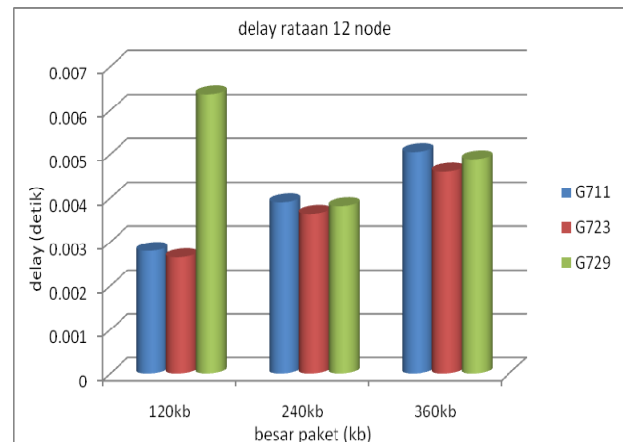
CODEC	Delay rata-rata (detik)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.00291342	0.0041372	0.0057604
G723	0.00266668	0.00207024	0.00246478
G729	0.00280962	0.00396325	0.00514004

Tabel 8. Delay rata-rata 20 node

CODEC	Delay rata-rata (detik)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.0028297	0.00400857	0.0052503
G723	0.00265899	0.00367172	0.00462837
G729	0.00288434	0.00410482	0.00537214

Tabel 9. Delay rata-rata 24 node

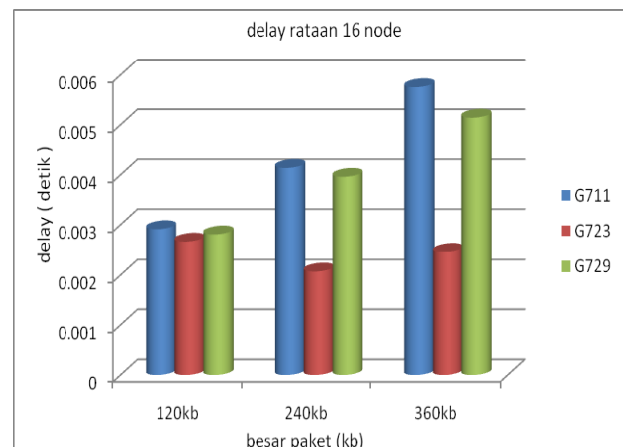
CODEC	Delay rata-rata (detik)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.00310128	0.00508426	0.11622
G723	0.00268671	0.0036575	0.00469444
G729	0.00267837	0.0036721	0.00467627



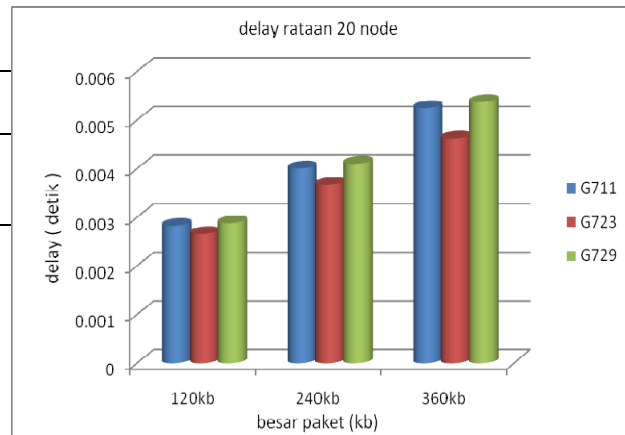
Gambar 4. Delay rata-rata untuk skenario simulasi 12 node.

Hasil yang diperoleh pada simulasi dengan skenario 12 *node* menunjukkan nilai *delay* yang dihasilkan menunjukkan bahwa penggunaan *codec* G723 lebih unggul jika dibandingkan dengan penggunaan *codec* G711 dan G729. Hal ini dikarenakan *codec* G723 memiliki nilai *sendrate* yang lebih kecil dibandingkan dengan G711 dan G729.

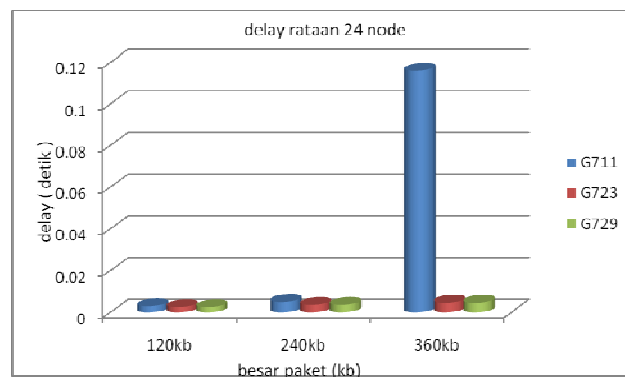
Pada skenario simulasi menggunakan jumlah *node* yang lebih banyak yaitu 16, 20 dan 24 diperoleh hasil seperti pada gambar 2, gambar 3 dan gambar 4. Dengan skenario simulasi jumlah *node* 16 nilai *delay* terbesar adalah pada skenario simulasi menggunakan *codec* G711, dan nilai *delay* terkecil adalah pada skenario simulasi menggunakan *codec* G723, untuk nilai besar paket 120 kb, 240 kb dan 360 kb.



Gambar 5. Delay rata-rata untuk skenario simulasi 16 node.



Gambar 6. Delay rata-rata untuk skenario simulasi 20 node.



Gambar 7. Delay rata-rata untuk skenario simulasi 24 node.

Dari semua grafik *delay* yang diperoleh dengan menggunakan jumlah node 12, 16, 20 dan 24 menunjukkan hasil yang seragam, *codec* G.723 memiliki nilai *delay* terkecil. Untuk semua skenario simulasi yang dijalankan tidak diberikan adanya *background traffic* pada saat simulasi berlangsung.

B. Analisis Jitter

Hasil simulasi untuk data *jitter* yang diperoleh pada skenario menggunakan 12 *node*, nilai rata-rata *jitter* nya dapat dilihat pada tabel 10 hingga Tabel 13.

Tabel 10. *Jitter* rata-rata 12 *node*

Codec	Jitter (ms)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.520276	0.792252	1.09116
G723	0.254031	0.305211	0.313172
G729	1.17267	0.6129	0.78318

Tabel 11. *Jitter* rata-rata 16 *node*

Codec	Jitter (ms)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.681841	1.07664	1.79686
G723	0.294263	0.286484	0.307204
G729	0.527221	0.759282	1.11267

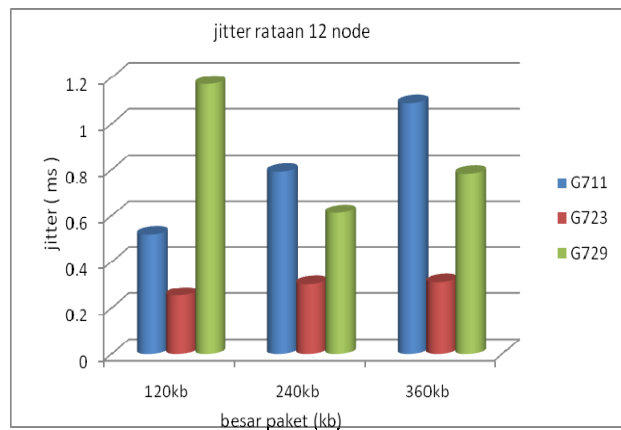
Tabel 12. *Jitter* rata-rata 20 *node*

Codec	Jitter (ms)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.564466	0.865803	1.29361
G723	0.329601	0.313581	0.354538
G729	0.618227	0.978582	1.43576

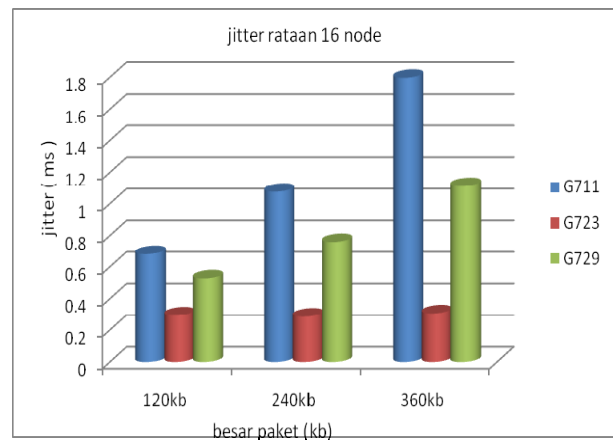
Tabel 13. *Jitter* rata-rata 24 *node*

Codec	Jitter (ms)		
	120kb	240kb	360kb
G711	0.92753	1.92458	171.891
G723	0.321726	0.353165	0.470121
G729	0.323923	0.383191	0.45424

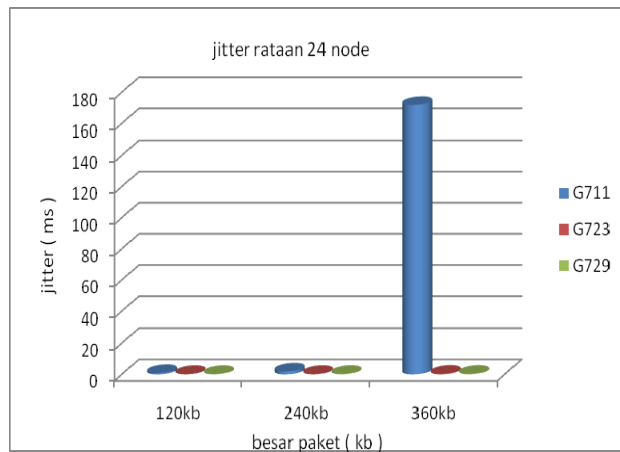
Dari tabel data rata-rata *jitter* untuk skenario 12,16,20 dan 24 *node* dilihat bahwa nilai *jitter* G723 selalu lebih kecil nilainya untuk skenario dengan besar paket 120kb, 240kb dan 360kb. Hal ini dikarenakan pada *codec* G723 memiliki *bits rate* sebesar 6,4 kbps. Sedangkan pada *codec* G711 memiliki *bits rate* 64kbps, dan *codec* G729 memiliki *bits rate* 8kbps.



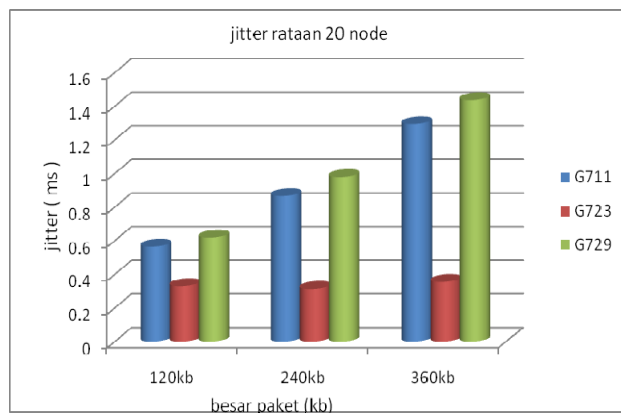
Gambar 8. *Jitter* rata-rata untuk skenario simulasi 12 node.



Gambar 9. *Jitter* rata-rata untuk skenario simulasi 16 node.



Gambar 10. Jitter rata-rata untuk skenario simulasi 24.



Gambar 11. Jitter rata-rata untuk skenario simulasi 20.

Analisis Throughput

Throughput yang dihasilkan dari proses simulasi menggunakan codec G.711 dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai paket yang dikirimkan melalui jaringan dan semakin banyaknya jumlah *node* yang berkomunikasi maka nilai throughputnya akan semakin besar.

Pada penggunaan codec G.711 perubahan nilai *throughput*nya cukup besar. Hal ini dikarenakan pada codec G.711 pengiriman paket datanya sebesar 64kbps, sehingga akan membebani jaringan.

Tabel 14 *throughput* rata-rata G.711

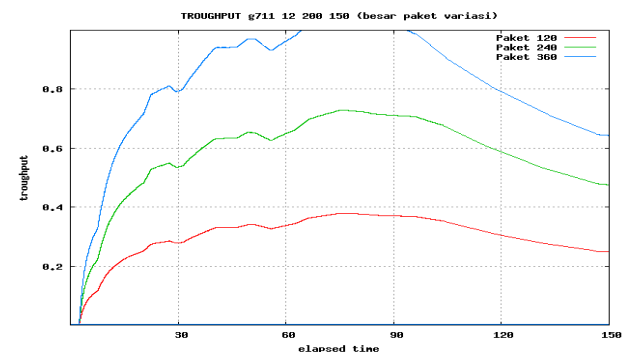
Node	Throughput (Mbps)		
	120kb	240kb	360kb
12 node	0,04996	0,09292	0,13616
24 node	0,11084	0,22010	0,22683

Tabel 15 *throughput* rata-rata G.723

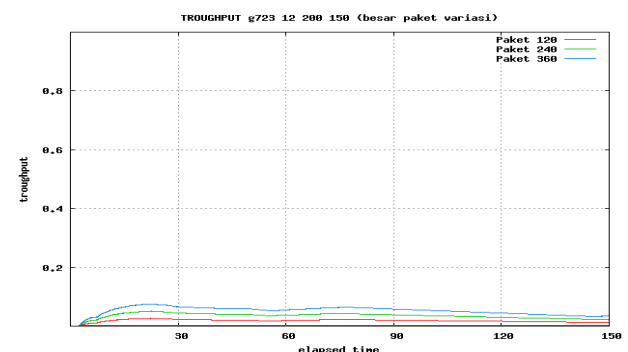
Node	Throughput (Mbps)		
	120kb	240kb	360kb
12 node	0,00510	0,00950	0,01410
24 node	0,00995	0,01833	0,02929

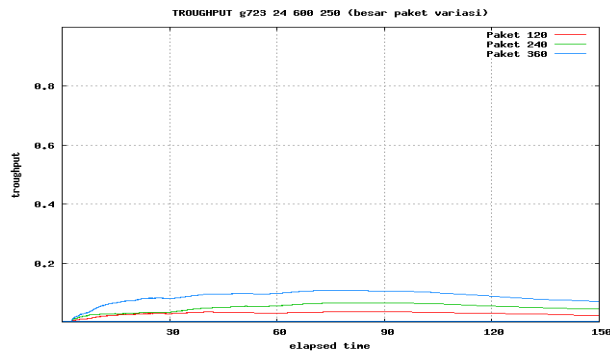
Tabel 16 *throughput* rata-rata G.729

Node	Throughput (Mbps)		
	120kb	240kb	360kb
12 node	0,13882	0,06796	0,09950
24 node	0,01243	0,02282	0,03323

Gambar 12. *Troughput* untuk skenario 12 node codec G711.Gambar 13. *Troughput* untuk skenario 24 node codec G711.

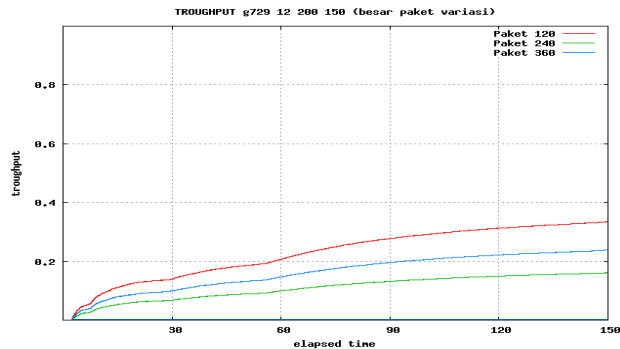
Hasil simulasi untuk codec G.723 dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12. Dari dua grafik tersebut terlihat bahwa perubahan *throughput* yang dihasilkan dengan mengimplementasikan codec G.723 sangat kecil. Sehingga kapasitas jaringan yang digunakan untuk melakukan pengiriman data tidak penuh oleh paket data suara yang dikirimkan. Hal ini dikarenakan pada codec G.723 pengiriman paket data yang diterapkan adalah sebesar 6,4kbps.

Gambar 14. *Troughput* untuk skenario 12 node codec G723.

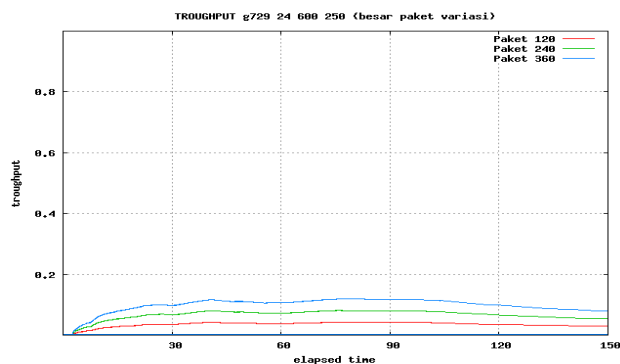


Gambar 15. *Troughput* untuk skenario 24 node *codec* G723.

Pada simulasi menggunakan *codec* G.729 seperti yangterlihat pada Gambar 9 dan Gambar 10, perubahan nilai *throughput* yang dihasilkan dari 12 *node* ke 24 *node* tidak begitu besar, sehingga tidak membebani jaringan.



Gambar 16. *Troughput* untuk skenario 12 node *codec* G729.



Gambar 17. *Troughput* untuk skenario 24 node *codec* G729.

Secara keseluruhan penerapan *codec* G.723 pada komunikasi VoIP lebih baik daripada G.711 dan G.729.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa *delay* dan *jitter* untuk G.723 lebih kecil dari G.711 dan G.729. Hal ini menunjukan bahwa implementasi *codec* G.711, G.723 dan G.729 pada *protocol* H.323 menunjukan *codec* G.723 lebih baik dari G.711 dan g.729 karena *codec* G723 mengimplementasikan algoritma dengan nilai *bits rate* paling kecil yaitu sebesar 6,4kbps. Nilai *troughput* yang dihasilkan oleh *codec* G.723 lebih baik dibandingkan dengan *codec* G.711 dan G.729.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan hal-hal berikut :

1. Penggunaan *background traffic* dalam proses simulasi.
2. *Node-node* yang melakukan komunikasi diberi kecepatan secara konstan.
3. Penggunaan *routing protocol* yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

Dalgic I, Fang H. Comparison of H.323 and SIP for IP Telephony Signaling. 3Com Corporation. Technology Development Center. 5400 Bayfront Plaza, M/S 3219, Santa Clara, CA 95052.

Patel T. 2007. Capacity Estimation of VoIP Channels on Wireless Networks [tesis]. The University of Texas at Austin

Papageorgiou PA. 2001. Comparison of H.323 vs SIP. University of Maryland

Poretsky S, Perser J, Erramili S, Khurana S. 2006. Terminologi for Benchmarking Network-layer Traffic Control Mechanism.IETF.RFC 4689.

Puangpronpitag S. 2003. Design and Performance Evaluation of Multicast Congestion Control for the Internet. The University Of Leeds School Of Computing.

Sukoco H. 2005. TCP-Friendly Congestion Control Menggunakan Pendekatan Layered Multicast untuk Aplikasi Multicast [tesis]. Bandung: Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

Tharom T. 2002. Teknis dan Bisnis VoIP. Jakarta: Elex Media Komputindo.

Zizhi Q, Lingfen S, Nicolai H, and Emmanuel I. 2004. A new method for VoIP Quality of Service control use combined adaptive sender rate and priority marking. University of Plymouth, Plymouth PL4 8AA, UK.

